

ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA: LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA DEL CONOCIMIENTO TECNOLÓGICO

CAJAS, FERNANDO

Asociación Americana para el Avance de la Ciencia

(American Association for the Advancement of Science, AAAS). Washington DC

SUMMARY

This article studies the role of technology, as curricular content, in science literacy. It describes a wide conception of literacy that includes knowing about science, mathematics and technology and their interactions focusing on the science or technology relationship. Using examples from control systems (electric circuits) and the design of structures (bridges), the article illustrates that there are technological concepts that are important for literacy. It also discusses the difficulties of introducing technology studies in general education.

INTRODUCCIÓN

Al iniciarse el siglo **xxi** nos encontramos en una sociedad que, para bien o mal, depende cada vez más de sus avances científicos y tecnológicos. Lo nuevo de la evolución reciente de la modernidad es que cada vez más la ciencia y particularmente la tecnología afectan la vida cotidiana. Esta influencia es observable en la creciente demanda de conocimiento científico y tecnológico para tomar decisiones comunes, ya sean individuales, como dietas alimenticias que afectan la presión arterial, o sociales, como la de optar por fuentes de energía más limpias que las tradicionales basadas en combustión de petróleo. La ciencia y la tecnología han dejado de ser parte del discurso de unos pocos académicos para formar parte de la «canasta básica» del ciudadano de a pie. De hecho, para interpretar las noticias diarias se requiere de un conocimiento mínimo en ciencia y tecnología.

Paradójicamente, la mayoría de los miembros de nuestras sociedades –ya sean las autollamadas *desarrolladas*

o las que son consideradas en vías de desarrollo– entienden muy poco acerca de la naturaleza de la ciencia y la tecnología que han transformado el mundo moderno (Jenkins, 1997; Layton, 1994a). En lo que respecta a tecnología, esto no es ninguna sorpresa, pues en ningún momento en su trayectoria escolar nuestros estudiantes reciben una educación explícita en tecnología. En los programas escolares muy pocas veces se estudia la interacción entre ciencia, tecnología y sociedad y casi nunca se discute la naturaleza de la tecnología como es el caso del diseño tecnológico, su impredecibilidad y su relación con los riesgos naturales o sociales que le acompañan (AAAS, 1997).

La falta de conocimiento tecnológico útil para que los estudiantes y futuros ciudadanos comprendan y transformen la realidad que les rodea es parte de una problemática mayor llamada *bajo nivel de alfabetización científica y tecnológica*. En los años ochenta se llevaron a

cabo, en los Estados Unidos de América del Norte, Inglaterra y otros países, estudios para determinar el nivel de alfabetización científica de la población (Miller, 1983). Los resultados mostraron que en general la población era iletrada en lo que corresponde a conocimiento científico. Aunque las mismas preguntas que fueron utilizadas para medir el nivel de alfabetización científica fueron motivo de debate –pues parecían medir sólo memorización de eventos o nombres de científicos más que comprensión de conocimientos–, estudios realizados con más refinamiento metodológico (p.e., aquellos que utilizan entrevistas clínicas) mostraron que, a pesar de años de estudio, en general los estudiantes tienen problemas en comprender la ciencia que se les enseñó (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Novak, 1987).

Aunque alrededor del mundo existen diferentes orientaciones sobre alfabetización científica, la mayoría de las que han sido informadas no le dan a la tecnología, como conocimiento para todos, el lugar que las condiciones sociales del mundo moderno requieren (véanse por excepciones Jenkins, 1997; Layton, 1994a). En contraste, la llamada de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia sobre alfabetización científica pone bastante énfasis en el conocimiento tecnológico que todos los ciudadanos deben tener, empezando con el informe sobre educación en tecnología que la AAAS presentó al final de los años ochenta (Johnson, 1989). Dicho informe impactó a la comunidad de educadores en tecnología –dedicada entonces a las artes industriales o estudios vocacionales–, constituyéndose en un catalizador para cambiar la dirección de dicha profesión hacia una educación tecnológica más relevante para la sociedad moderna (Lewis, 1991). Al final esto motivó a dicha comunidad a clarificar con más detalle el conocimiento tecnológico necesario para la alfabetización (International Technology Education Association, 2000).

Usando como referencia la noción de *alfabetización científica* de la Asociación Americana Para el Avance de la Ciencia, en este artículo primero estudiaremos la idea general de transposición didáctica, entendida como el movimiento de saberes científicos a saberes escolares iluminado por la investigación en didáctica de las ciencias. Esto se ilustra utilizando el caso de la transposición didáctica del concepto de *gravitación*. Luego, se discute la transposición didáctica de los conceptos tecnológicos de *control y diseño*, lo que se hace respectivamente en dos contextos: los circuitos eléctricos y el diseño de estructuras (puentes). Los casos concretos de los circuitos y los puentes sólo son ejemplos de un argumento más general, que es la necesidad de tener una visión de alfabetización científica y tecnológica coherente que, además, clarifique el conocimiento tecnológico para la educación científica de todos.

TRANSPOSICIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO AL CONOCIMIENTO ESCOLAR

La traslación del conocimiento científico al conocimiento escolar, esto es, la incorporación de saberes científicos

a los sistemas educativos, ha sido estudiada por varios teóricos de la educación (Dewey, 1902; Schwab, 1973; Bernstein, 1975; Chevallard, 1991). Usualmente esta traslación ocurre casi de manera espontánea –o en el mejor de los casos, se planifica solamente a corto plazo–, dejando el movimiento de conocimientos científicos hacia nichos escolares a la merced de escritores de libros de texto o a expensas de las ideologías dominantes que no necesariamente trasladan conocimiento relevante para la sociedad.

La traslación de conocimientos científicos a conocimientos escolares es un complejo proceso de movimiento de saberes de una comunidad hacia otra. Ciertos teóricos suponen que, debido a que los conocimientos científicos se han construido socialmente en ámbitos no escolares, su introducción al sistema de enseñanza obliga a una serie de modificaciones que afectan su estructura y su funcionamiento (Verret, 1975; Chevallard, 1991). Este proceso de incorporación de saberes científicos a saberes escolares plantea una serie de problemas teóricos y prácticos fundamentales. En este artículo no estudiamos las complejidades de dichos problemas, más bien presentamos una descripción general de cómo dicho proceso afecta lo que se llama *alfabetización científica y tecnológica*.

El hecho de que la traslación de saberes científicos a saberes escolares ya se ha llevado a cabo de una manera un tanto espontánea significa que casi nunca se estudian sus implicaciones a largo plazo. Por ejemplo, muy pocos previeron las implicaciones sociales de la introducción de la física newtoniana en el discurso escolar y menos en el discurso público. Es posible que la física newtoniana haya producido una visión mecanicista del mundo. Esto es, debido a que algunos fenómenos físicos fueron explicados utilizando aparatos matemáticos, distintos intelectuales extendieron los poderes del paradigma newtoniano hacia otros campos como son los sociales. Al hacer esto, valoraron más el papel de las explicaciones cuantitativas que de las cualitativas. Aunque esta visión nunca ha sido compartida por la mayoría de los elementos de las sociedades, sí tuvo impacto en los académicos de la época industrial. Pero más importante que estas implicaciones en las ideologías de los académicos, lo crítico de esta falta de planificación a largo plazo es que no se ha discutido –y menos investigado– cómo un determinado grupo de conocimientos científicos (p.e., la física newtoniana) puede ser útil en la vida diaria de quienes los aprenden.

Aquí hay dos puntos importantes. Uno es la planificación del conocimiento científico como saber escolar y otro, el impacto social que un determinado conocimiento científico pueda tener en la vida cotidiana de los individuos. Ambos tienen diferentes historias y propósitos, pero están de alguna manera relacionados.

Hasta hace poco el conocimiento escolar era visto como una versión simplificada del conocimiento de los expertos. Por ejemplo, la física escolar era interpretada como una versión simplificada de la mecánica clásica. Desde

un punto de vista histórico, esto es parcialmente cierto. La versión de la mecánica clásica trasladada al discurso escolar parece ser una mezcla de la física newtoniana con la euleriana donde se introduce la noción de *partícula* y la idea de *vectores* con aplicaciones a gravitación y a movimiento de objetos terrestres y celestiales (Truesdell, 1975; Cajas, 1995).

Es difícil clarificar los criterios de la traslación de conocimientos científicos al discurso escolar. Aunque ciertos científicos con interés en educación han escrito libros de texto para educación primaria y secundaria, lo más seguro es que los escritores de libros de textos escolares –posiblemente sin mayor entrenamiento científico– han tenido más influencia en la traslación de conocimientos científicos que los mismos científicos. Estos escritores de libros de texto, ya sean científicos o no, han desarrollado en general una práctica sin mayores fundamentos teóricos. La mayoría de ellos no han incorporado en sus textos lo que se sabe sobre aprendizaje de las ciencias. Al hacer esto han asumido el criterio simplista de que el discurso escolar es una versión para niños del conocimiento del experto. Ahora se entiende que el conocimiento escolar es mucho más que una versión simplificada del conocimiento del experto.

Durante los últimos treinta años la traslación del conocimiento científico al escolar ha cambiado radicalmente debido a la emergencia de la investigación en didáctica de la ciencias que ahora ilumina la selección y adaptación de conocimientos científicos a sistemas educativos. Es preferible llamar a este fenómeno *transposición didáctica* (Chevallard en 1991 utiliza el concepto de una forma un tanto diferente) para distinguirlo de la mera traslación de conocimientos sin mayor fundamento teórico.

Una serie de reformas en enseñanza de la ciencia que se dieron en los años ochenta y noventa en varias partes del mundo ilustran este fenómeno (AAAS, 1990, 1997; National Research Council, 1996). A diferencia de otras reformas educativas, esta nueva definición del discurso científico escolar –conocido como *alfabetización científica*– está siendo dirigida, como ya hemos dicho, por una emergente investigación en didáctica de la ciencias. Los criterios de transposición didáctica ya no fueron los criterios individuales de los escritores de libros escolares sino una serie de elementos que intentan promover un discurso científico escolar más coherente y relevante para la vida diaria. Entre estos criterios destacan los siguientes:

- a) desarrollar ciencia para todos, no sólo para aquéllos que van a ser científicos (democratización);
- b) reducir de la cantidad de contenido (menos es mejor);
- c) aumentar la coherencia de lo que se enseña (más conexiones dentro de las ciencias con matemática y tecnología);
- d) aumentar la relevancia de la ciencia, matemática y tecnología aprendida para la vida cotidiana (relevancia).

El caso de la gravitación

La investigación en didáctica de las ciencias ha mostrado que para aprender conocimientos científicos se requieren largos períodos de tiempo donde los estudiantes deben tener acceso a trabajar directamente con fenómenos, representar y discutir sus ideas. Por ejemplo, la construcción de ideas sobre gravitación va a requerir que los estudiantes construyan nociones euclidianas de espacio, escala, ideas sobre la forma de la Tierra, elementos básicos sobre sistemas de referencia y nociones de fuerzas que actúan a distancia, además de la incorporación de los conceptos de *fuerza* y *movimiento*. En lugar de hacer que los estudiantes repitan que la «Tierra es redonda» o que memoricen nombres de planetas que nunca observarán, la instrucción debe planificarse para que los estudiantes tengan oportunidades de construir conocimiento profundo de un número limitado de ideas claves acerca de gravitación.

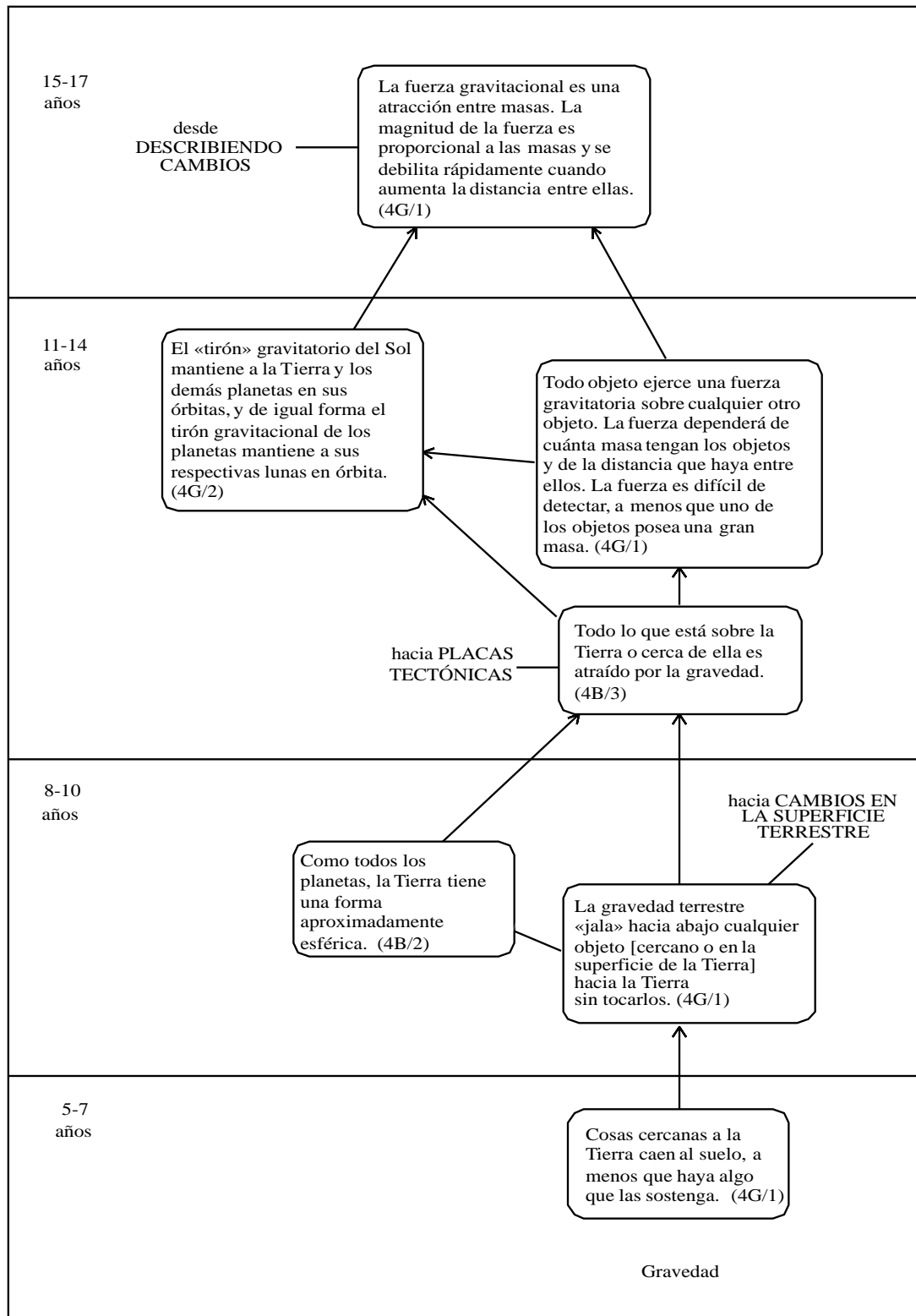
La investigación didáctica, junto al trabajo desarrollado por psicólogos cognitivos interesados en la adquisición de conceptos científicos, muestra que los estudiantes no aprenden conceptos aislados sino, más bien, grupos de conceptos interconectados (Chi, 1992; Vosniadou, 1991). El concepto de la *forma de la Tierra*, por ejemplo, está íntimamente relacionado con la idea de *gravitación* (Nussbaum, 1979; Vosniadou y Brener, 1992). Es importante entender la idea de gravitación para explicar por qué la gente que está «abajo» de la Tierra no se cae (Vosniadou, 1991). Esto parecerá obvio para un físico, pero no lo es para profesores que enseñan estas ideas al nivel primario. Más importante es la pregunta de cómo las ideas sobre la forma de la Tierra y nociones elementales sobre gravitación –como son el hecho de que las cosas cercanas a la Tierra caen al suelo– están relacionadas con ideas más desarrolladas como la noción de *gravitación universal*.

En la figura 1 se ilustra la progresión del concepto de *gravedad terrestre*. El mapa difiere de los mapas conceptuales introducidos por Novak en el sentido de que presenta una posible progresión del conocimiento escolar y puede utilizarse para ver de dónde vienen ciertas ideas, hacia dónde van y cómo están conectadas vertical y horizontalmente con otras áreas de alfabetización científica.

De alguna manera, el mapa refleja que se ha progresado en la coherencia de los conocimientos científicos escolares desde el punto de vista cognitivo y didáctico. Esto es, sabemos mejor –por investigaciones realizadas en las últimas décadas– que las ideas científicas que se aprenden dependen de sistemas de ideas que están conectadas y que no necesariamente son imágenes de las ideas del conocimiento de los científicos. Gracias a la investigación educativa, hemos realizado algunas conexiones entre ideas científicas y matemáticas y estamos en los inicios de empezar conexiones entre ideas científicas e ideas tecnológicas que son relevantes para la educación de todos.

Figura 1

Un mapa ilustrando el desarrollo del concepto de *gravedad*. Las secciones «Órbita», «Observaciones», «Movimiento relativo» y «Fuerzas y movimientos» no son mostradas (AAAS, 2000).



La relevancia de la ciencia y la tecnología en la vida cotidiana

A pesar de los avances mencionados tales como son una mayor coherencia cognitiva y didáctica de los conocimientos científicos escolares, aún sabemos muy poco sobre la relevancia de estos conocimientos en la vida cotidiana. Esto está relacionado con nuestra falta de comprensión acerca del uso de la ciencia en la vida diaria, no sólo de parte de estudiantes sino de adultos de una determinada sociedad. No existen trabajos acerca de cómo un grupo de conocimientos científicos escolares son utilizados en la vida cotidiana por quienes los aprenden. Aunque existen estudios emergentes de cómo las personas usan cierta clase de matemáticas en la vida cotidiana—como son compras en el supermercado (Lave, 1988)—, existen muy pocos estudios acerca de cómo se usa la ciencia en situaciones reales de la vida diaria (Layton, Jenkins, Macgill y Davey son una excepción, 1993).

Hay una línea nueva de investigación que estudia cómo las personas utilizan ciencia (no ciencia escolar) en ciertos aspectos de sus vidas, particularmente en contextos donde es necesario tomar decisiones políticas (Wynne, 1991, 1995; Irwin, 1995; López y Gonzales, 1996). Esta investigación muestra que los ciudadanos tienden a interpretar la ciencia en términos de necesidades muy particulares. Aquí se establecen relaciones complejas entre conocimiento científico y ciertos factores sociales como la «confianza» que pueda tener una determinada comunidad en los expertos (científicos) que trabajan con ellos. En general, son factores sociales como esta «confianza» los que hace que los ciudadanos se involucren en adaptar conocimientos científicos a situaciones locales. No es que la gente sea ignorante, nos dice esta literatura, sino que las personas construyen una ignorancia acerca de la ciencia que no es relevante para sus necesidades (Michael, 1992). Los problemas vienen a ser relevantes cuando los ciudadanos se apropian de ellos y los resuelven de una manera bastante diferente de lo que sucede en contextos escolares (Lave, 1988; Layton et al., 1993).

SELECCIÓN DEL CONOCIMIENTO ESCOLAR PARA LA VIDA COTIDIANA

Los movimientos de alfabetización científica asumen que existe una relación estrecha entre ciencia y vida cotidiana hasta el extremo que, para algunos, la esencia de dicha alfabetización es la habilidad que puedan tener los alumnos de utilizar conocimientos científicos en la vida diaria (Collins, 1997; Jenkins, 1993). Aunque el uso de la ciencia escolar en la vida cotidiana de los alumnos es un ideal compartido por muchos, muy pocos han estudiado sus complejidades (Pozo es una excepción desde el paradigma cognitivo, 1999). Lo cierto es que la relación entre ciencia escolar y vida cotidiana casi no ha sido estudiada; de ahí que no tengamos las herramientas conceptuales para analizarla, ni siquiera el vocabulario para hablar de ella.

No está claro, por ejemplo, si, cuando se dice que los alumnos están conectando la ciencia escolar con la vida cotidiana, ellos están utilizando conocimiento científico para resolver problemas ordinarios—como reparar sus bicicletas—o si están entendiendo la física que explica el equilibrio para manejar una bicicleta. Para muchos, la vida cotidiana sólo tiene un carácter motivacional y se usa como punto de partida para reemplazarla por conocimientos más sofisticados. Para otros, ésta debería ser la arena del aprendizaje y aplicación de conocimientos científicos hasta tal grado que los estudiantes deberían resolver problemas relevantes a sus sociedades, como lo son la contaminación de un río. Entre éstos se decantan los seguidores del movimiento ciencia, tecnología y sociedad (Osorio, 2000; Vilches, 1999; Solomon, y Aikenhand, 1994; Yager, 1996).

El caso de la electricidad

Clarificar todos los significados que tiene el uso de la ciencia escolar en la vida cotidiana es quizás imposible y definitivamente innecesario. Para analizar las complejidades de lo que significa el uso de la ciencia escolar en la vida cotidiana examinaremos un ejemplo de un tópico que usualmente se considera con muchas aplicaciones a la vida diaria: la electricidad. El ejemplo puede ser intercambiado por una diversidad de tópicos como lo son calor y temperatura, naturaleza de la materia, leyes de movimiento, evolución, fotosíntesis, etc. Al final, lo que deseamos ilustrar es que el llamado *discurso científico escolar* relevante para la vida diaria esconde complejidades que usualmente no se ven. A la vez, queremos llamar la atención de que una relación más estrecha entre ciencia y vida cotidiana exige la introducción de conocimientos tecnológicos y no sólo científicos.

El tema de la electricidad, particularmente los circuitos eléctricos, es uno de esos temas escolares que es ampliamente aceptado como muy relevante para la vida cotidiana y que, por lo tanto, debería ser parte del conocimiento para la alfabetización científica (McDermott y Shaffer, 1992). A veces la idea es que, si los alumnos entienden nociones básicas sobre electricidad, ellos van a explicar el funcionamiento de varios aparatos eléctricos. Otras veces la interpretación va más allá y se espera que los alumnos sean capaces de resolver problemas prácticos como construir circuitos eléctricos reales para viviendas.

Empezaremos con un ejemplo de circuitos eléctricos. ¿Conoce usted la popular unidad que utiliza baterías y focos de linterna? Estos materiales se utilizan para armar circuitos eléctricos en serie y en paralelo. La pregunta que sigue es: ¿Cuáles serían los conceptos fundamentales que se supone que los estudiantes deben aprender después de realizar esos experimentos?

Algunos creen que la idea de *circuito eléctrico* es importante. Otros creen que el conocimiento de circuitos prepara a los estudiantes para conocimientos más avanzados de electricidad, como las leyes de Kirchoff o ideas acerca de la estructura atómica de la materia. Otros creen

que el conocimiento técnico de circuitos es importante para la vida cotidiana porque los estudiantes aprenden a resolver problemas prácticos (reparar artefactos). En este grupo están los más interesados en los procesos que en los contenidos, y sugieren que con estas actividades los alumnos aprenden a plantear hipótesis, desarrollar teorías y presentar evidencias.

Cuando uno examina el tópico de circuitos eléctricos con las lentes de la alfabetización científica, es difícil justificar dicho conocimiento como parte de la misma. Pocas personas van a necesitar este conocimiento especializado en sus vidas cotidianas, dado que la mayor parte de los trabajos en electricidad, como, por ejemplo, diseñar circuitos, la realizan electricistas, técnicos o ingenieros. Aún el uso de electricidad en artefactos eléctricos (computadora, horno microondas) no requiere una comprensión de circuitos en serie o en paralelo.

Este punto debe verse con mucha prudencia. De hecho, existen conocimientos científicos que los estudiantes aprenden cuando construyen y examinan circuitos eléctricos, como son predicciones acerca del brillo de bombillas eléctricas (Arons, 1997; McDermott y Shaffer, 1992; Varela y Favieres, 1988). Sin embargo, ¿cómo conectar estos conocimientos con ideas científicas más amplias? Y más importante, ¿cómo estos conocimientos sobre circuitos eléctricos escolares encuentran su relevancia en la vida cotidiana? Aún requerimos más investigaciones para contestar estas preguntas. Sin embargo, desde una perspectiva teórica es posible examinar algunas ideas claves que pueden ser promisorias y que aparecen ocultas detrás de la idea de circuitos eléctricos.

Detrás de la idea de circuitos eléctricos existen nociones fundamentales que deben ser conocidas por todos en la sociedad. Un concepto fundamental que puede aprenderse en el contexto de circuitos eléctricos es la idea de *control*. Esto es, el interruptor que deja o no pasar la electricidad es un sistema de control particularmente si los alumnos diseñan diferentes tipos de interruptores. Es importante conocer acerca de *sistemas de control* porque éstos determinan cómo funcionan no sólo los sistemas físicos sino también los sistemas sociales. En sus recomendaciones sobre sistemas de control, el Proyecto 2061 sugiere:

«Una idea que debe incluirse en los grados intermedios es la de que los sistemas complicados requieren mecanismos de control. La mayoría de los alumnos conocen el termostato para controlar la temperatura de una habitación; éste puede servir como modelo de todos los mecanismos de control. También pueden investigarse cómo funcionan los controles en los diversos sistemas: máquinas, competencias atléticas, política, el organismo humano, el aprendizaje.» (AAAS, 1998, p. 47)

Desde esta perspectiva de alfabetización es importante que los estudiantes aprendan sobre control en sistemas complejos. La sociedad moderna está llena de ellos: un motor de un carro, el aire acondicionado, los ritmos del tiempo, etc. Necesitamos aprender acerca de sistemas complejos para entender el funcionamiento del mundo

(Hmelo, Holton y Kolodner, 2000). Esto va más allá de sistemas físicos: «Otro ejemplo es la manera en que se filtran noticias sobre planes gubernamentales antes de que se anuncien de manera oficial, lo que puede provocar reacciones que obligan a cambiarlos; las personas comparan lo planes filtrados con los que les gustarían y entonces los apoyan u objetan [...]» (AAAS, 1997, p. 171).

En este ejemplo hipotético, los planes del gobierno van a ser afectados por la retroalimentación (*feedback*) que viene de las personas que conocen el plan antes de que se haga público. Las nociones generales de *entradas (inputs)*, *salidas (outputs)* y *retroalimentación (feedback)* pueden extenderse más allá del caso de sistemas físicos de control (como es el caso del termostato). Los circuitos eléctricos podrían ser un contexto para aprender estas ideas sobre el funcionamiento de sistemas complejos.

Aprender acerca de sistemas no es parte de la mayoría de los programas de educación científica ni en los países autollamados *desarrollados* ni en los llamados *subdesarrollados*. Quizás por la misma razón, la investigación en didáctica de las ciencias no ha estudiado cómo los alumnos aprenden estas ideas. En el caso de electricidad, la investigación se ha enfocado en cómo los estudiantes aprenden acerca de circuitos en serie y en paralelo, sin conectar esta investigación con el cómo podrían aprenderse ideas sobre control y *feedback* en el contexto de circuitos eléctricos. De alguna manera esto está relacionado con la forma en que los criterios de transposición didáctica han valorado más las ideas científicas que las tecnológicas. Conceptos acerca de control (retroalimentación o *feedback*) de sistemas complejos tienen sus raíces en las tecnologías y aún no han logrado transitar hacia el discurso escolar. Pero, si se cree que estas ideas pueden ayudar a la sociedad a entender el mundo material y social, habrá que estudiar cómo estas ideas sobre sistemas complejos pueden encontrar un lugar en la educación general de todos los ciudadanos.

CONOCIMIENTO TECNOLÓGICO EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

La introducción de la tecnología en educación primaria y secundaria no es una nueva idea.

El movimiento llamado *Ciencia, Tecnología y Sociedad* (CTS) introdujo aspectos de tecnología en la educación primaria y secundaria (Solomon y Aikenhead, 1994; Yager, 1996). Este movimiento ha tenido bastante influencia en Iberoamérica (Moreno, 2000; Vilches, 1999; Gil, 1998) pero no tanta en los Estados Unidos.

Es importante resaltar que los trabajos sobre ciencia, tecnología y sociedad (CTS) constituyen un campo de estudio interdisciplinar centrado en la comprensión de los aspectos sociales y humanistas de la ciencia y la tecnología. Este movimiento con sus orígenes en los años setenta ha creado toda una serie de investigaciones que han enriquecido nuestra comprensión de la naturale-

za social de la tecnología. El brazo educativo de CTS se ha enfocado en la enseñanza de la interacción entre ciencia, tecnología y sociedad, particularmente en los aspectos sociales de tecnología (Solomon y Aikenhand, 1994; Yager, 1996).

Un problema que se observa en los seguidores del movimiento educativo CTS – al menos en EEUU y Canadá – es que parece ser que no han clarificado qué aspectos de la tecnología son necesarios para la alfabetización (Cajas, 1998; Layton, 1994b). Esto es, después de que los estudiantes desarrollan sus proyectos sociales, no está claro qué ciencia aprenden y, menos, cuál es el conocimiento tecnológico que resulta de esos proyectos.

La clarificación del conocimiento tecnológico para la alfabetización ha probado que es una de las tareas más difíciles dada la diversidad de orientaciones sobre alfabetización científica, aunadas a la intrincada problemática de clarificar el conocimiento tecnológico (Layton, 1994b, Jenkins, 1997; Cajas, 1998). No ha sido sino hasta en las últimas décadas cuando estudiosos de la tecnología como lo son los filósofos (Bunge, 1985; Mitcham, 1994) y los propios ingenieros que reflexionan sobre sus prácticas (Buciarelli, 1994, Vicenti, 1990, Herrera, 1990, 1996) han proporcionado una nueva perspectiva acerca de la naturaleza del conocimiento tecnológico, su relación con el conocimiento científico y su intrínseca individualidad. Estos trabajos han mostrado que existen conocimientos que son específicamente tecnológicos y que difieren, pero están relacionados de alguna forma, con el conocimiento científico.

Por otra parte, la tecnología, como contenido curricular, está siendo introducida como parte de importantes reformas en educación científica en África (Kerre, 1997), Australia (Morgan, 1994), los Estados Unidos (AAAS, 1990, 1993; International Technology Education Association) y Latinoamérica (Andrade, 1997). La introducción de tecnología como parte de la educación científica puede verse como una intensificación de la relación entre la ciencia y la vida cotidiana. Efectivamente, algunos investigadores están llamando nuestra atención acerca de lo que la tecnología, como contenido curricular, puede ofrecer a la educación científica.

Para ilustrar una posible relación entre alfabetización científica y tecnológica, vamos a examinar un ejemplo específico en el área de diseño estructural.

El caso del diseño y la construcción de un puente

Un ejemplo típico de la introducción de tecnología en la educación científica es el diseño y construcción de un puente que soporte tanto peso como sea posible, a la vez que permanezca lo más liviano que se pueda. Se ha informado que, al desarrollar este proyecto, los estudiantes aprenden ideas sobre estructuras, particularmente aprenden a describir las fuerzas que actúan en dichos sistemas (Roth, 1996a). Tradicionalmente se espera que los estudiantes sean capaces de identificar las fuerzas que actúan sobre el puente, esto es, la gravedad que

afecta la estructura y las fuerzas de reacción que ejercen las bases. Los alumnos también pueden aprender ideas acerca de estabilidad y diseño estructural (Gustafson, Rowel y Rose, 1999). Algunos investigadores han ido más lejos, hasta tal punto de utilizar esta clase de proyectos para que sus estudiantes aprendan acerca de las propiedades de los materiales y cómo éstas se relacionan con las estructuras que ellos diseñan (Roth, 1998). Sin embargo, casi ningún investigador o docente ha estudiado las ideas tecnológicas que pueden aprenderse en el contexto de la construcción del puente.

El problema de diseñar un puente es visto de diferente manera de acuerdo con las epistemologías de las distintas profesiones. Para un físico, el problema consiste en que, dada una estructura, su tarea es determinar las fuerzas que actúan sobre aquella. Toda la mecánica newtoniana tiende a aislar los componentes de la estructura como una manera de entender las posibles cargas que ésta pueda soportar. Para un ingeniero, la tarea es inventar una estructura para un problema real (Herrera, 1990). Dada esta situación, el ingeniero considerará aquellos componentes que son relevantes para el diseño de la estructura y que resolverán el problema. Para el ciudadano común, el problema no es ni el análisis newtoniano de las fuerzas ni la habilidad de diseñar estructuras, ya que muy pocas personas van a tener la oportunidad y necesidad de diseñar puentes en sus vidas. Lo que es importante para la alfabetización es una serie de conocimientos que ambos, el físico y el ingeniero, asumen, pero que no son explícitos en sus prácticas. De ahí que la pregunta sea otra vez, ¿cuáles son las ideas importantes para la alfabetización científica que es posible entender en el contexto de la construcción del puente?

Detrás de la construcción de un puente existen decisiones importantes que los estudiantes están tomando: desde la discusión del problema social que el puente debe resolver hasta la selección de los materiales, además del diseño de la estructura. Dependiendo de cuán auténtico sea el proyecto, esto es, hasta qué punto este proyecto escolar resuelve o no un problema real, la discusión del diseño de ingeniería y la construcción del puente esconden ideas fundamentales que son necesarias para sobrevivir –y más aún– para mejorar nuestra sociedad tecnológica. La Asociación Americana para el Avance de la Ciencia ha sugerido que, después de su educación obligatoria, todos los estudiantes deberían comprender –a nivel de alfabetización– el tipo de pensamiento que hay en el proceso de *diseñar* cosas, artefactos y procesos. Pero ¿qué significa que alguien comprenda, a un nivel de alfabetización, las ideas del diseño tecnológico?

Requerimientos y objetivos del diseño tecnológico

Existen diferentes interpretaciones de lo que significa *entender*, desde el punto de vista de la alfabetización, un determinado grupo de conocimientos. Para algunos, la habilidad de hacer algunas cosas es lo esencial (International Technology Education Association, 2000). Para otros, es el entendimiento del concepto o idea lo importante. Éste ha sido un debate que va más allá del

problema de tecnología y que se refleja en la discusión entre procesos y contenidos.

La habilidad de diseñar artefactos no es necesariamente el objetivo más importante para la alfabetización científica y tecnológica (Cajas, 2000) –aunque diseñar cosas es una forma eficiente de aprender sobre diseño–. Lo que es importante es que los estudiantes comprendan ciertas características de la naturaleza del diseño tecnológico. Por ejemplo, es crítico notar que al diseñar siempre hay cosas que hay que sacrificar. Esto es el reflejo de que al diseñar algo siempre se trabaja con restricciones físicas (p.e., calidad de los materiales, limitaciones energéticas, etc.) y sociales (p.e., intereses de una comunidad, falta de dinero, etc.) y criterios que no permiten tener un diseño perfecto:

«Adaptarse adecuadamente a una limitante puede provocar a veces conflicto con las demás. Por ejemplo, el material más liviano puede no ser el más fuerte; o la forma más eficiente tal vez no sea la más segura o agradable desde el punto de vista estético. Por tanto, cada problema se presta a muchas alternativas de solución, dependiendo de qué valor le den las personas a las diferentes restricciones [...] La tarea es llegar a un diseño que equilibre de manera razonable los diversos intereses, en el entendimiento de que ningún diseño puede ser al mismo tiempo el más seguro, el más confiable, el más eficiente, el más barato [...]» (AAAS, 1997, p. 28)

Ideas acerca de la naturaleza del diseño tecnológico tales como la mencionada de que «no existe diseño perfecto», la necesidad de «balancear alternativas», etc. pueden aprenderse en diferentes contextos. El caso del diseño y construcción de estructuras es solamente uno de dichos contextos.

La figura 2 ilustra la progresión de ideas y habilidades tecnológicas relacionadas con el tópico de diseño tecnológico. Aquí se ha escogido resaltar dos componentes llamados *compromisos en el diseño y restricciones físicas*. El mapa completo posee otras historias verticales como son *restricciones sociales y previniendo fallas*. Este submapa es parte de un grupo de mapas sobre alfabetización tecnológica llamados *sistemas diseñados y decisiones al usar tecnología*, los que a su vez forman un grupo de mapas llamado *Atlas de alfabetización científica* (AAAS, 2000).

El mapa ha sido construido a la luz de la investigación realizada tanto en didáctica de la ciencias (Russell, Longden y McGuigan, 1991) como la investigación proveniente de la emergente investigación en educación en tecnología. Por ejemplo, antes de que los estudiantes conozcan que existen materiales mejores que otros (8B#1), es importante que sepan describir objetos (4D#1). Esto parecería obvio, pero no lo es.

Varios investigadores han encontrado que los alumnos (y algunos docentes) tienen problemas para distinguir las propiedades de los objetos (p.e., esta hoja es rectangular) de las propiedades de los materiales de que están

hechos los objetos (p.e., esta hoja está hecha de papel) (Russell, Longden y McGuigan, 1991). La investigación ha mostrado que «las tareas de clasificación de objetos de acuerdo con los materiales de que están hechos y en comparación con las propiedades de dichos materiales puede constituir un desafío para los niños de los primeros grados» (AAAS, 1997, p. 358; Russell, Longden y McGuigan, 1991). Desde los trabajos de Piaget, los investigadores han explorado cómo los niños y niñas describen materiales en términos de propiedades físicas. Esta investigación (Russell, Longden y McGuigan, 1991) se ha dado más en el contexto de la didáctica de las ciencias en el cual el objetivo ha sido conocer hasta qué punto se desarrollan ideas sobre conservación de la materia (Driver et al., 1985). Existe menos investigación acerca de cómo los niños y niñas describen las propiedades de los materiales en términos de sus funciones (p.e. los materiales pueden ser fuertes, flexibles, duros, suaves, etc.). Estos son más bien conocimientos tecnológicos necesarios para entender las capacidades funcionales de los materiales.

La investigación que se está desarrollando en didáctica de las ciencias (Russell, Longden y McGuigan, 1991; Roth, 1998) sobre el entendimiento de ideas acerca de materiales está no sólo contribuyendo a una mejor comprensión de cómo los niños y las niñas aprenden conceptos científicos, sino que está proveyendo los fundamentos para entender cómo se aprenden ideas tecnológicas que están relacionadas con la manipulación de materiales (Russell, Longden y McGuigan, 1991) y el diseño tecnológico (Roth, 1998).

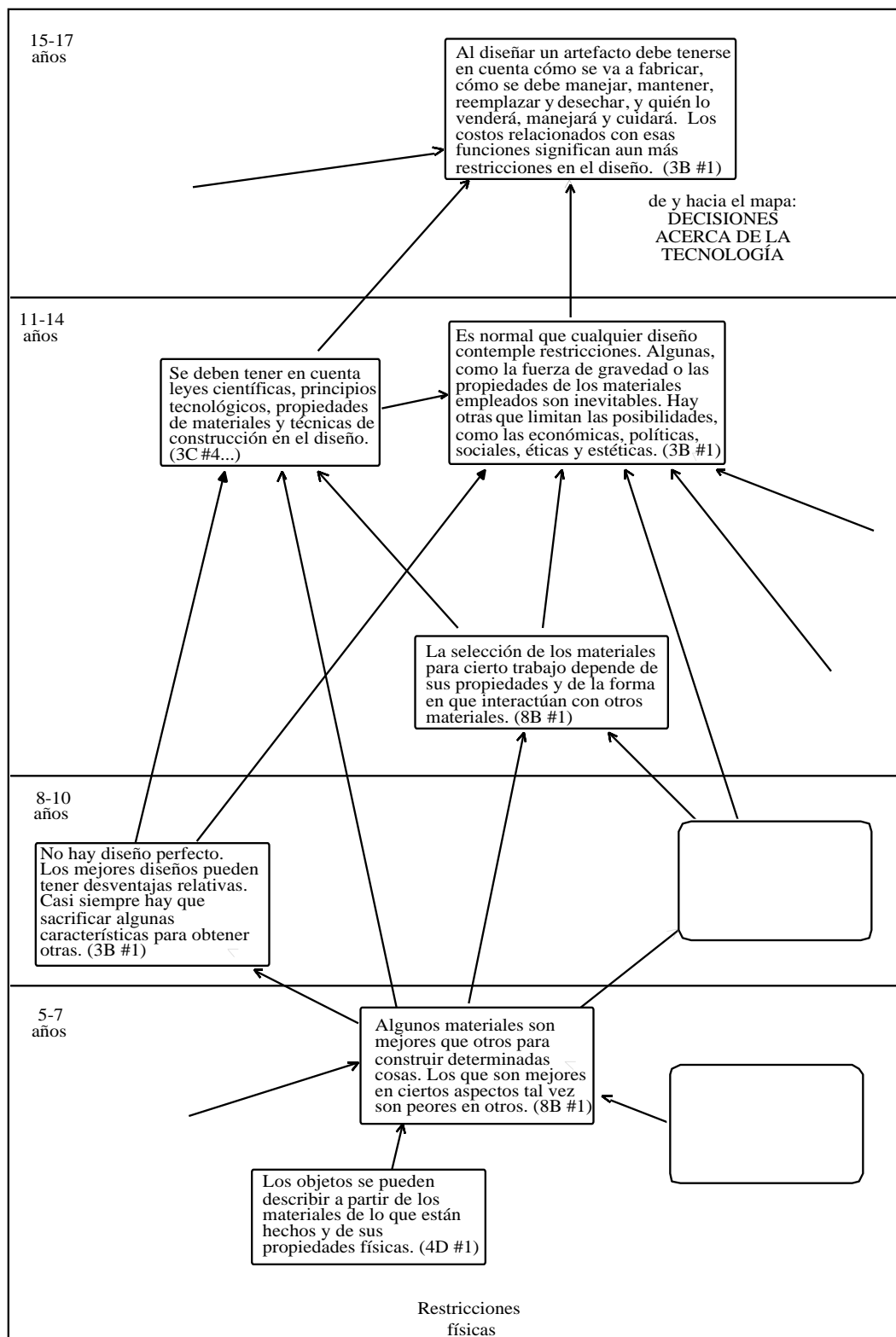
En el contexto de nuestro ejemplo, el aprendizaje acerca de materiales es la base sobre la que luego los estudiantes construyen ideas acerca del diseño de cosas, artefactos y procesos. Existe un momento en que será importante discutir el papel de las leyes científicas y principios tecnológicos en el diseño, lo que será una etapa fundamental, ya que el diseño tecnológico no es la simple aplicación de conocimiento científico universal a situaciones específicas (Herrera, 1996; Vicenti, 1990; Buciarelli, 1994). Esta comprensión de las restricciones físicas (materiales, leyes físicas, etc.) debe conectarse a las restricciones sociales. Estas ideas de diseño, restricciones, fallos, es un caso de transposición didáctica de saberes tecnológicos para alfabetización científica.

EL PENSAMIENTO TECNOLÓGICO EN LA EDUCACIÓN GENERAL

El pensamiento tecnológico tal como ha sido descrito aquí es el aprendizaje de ideas tecnológicas importantes que están relacionadas entre sí, formando una imagen coherente de alfabetización tecnológica que se relaciona y enriquece con la alfabetización científica. Lo que se quiere es que los futuros adultos no le teman a la tecnología sino que conozcan sus características más importantes. Muy pocos estudiantes han tenido la oportunidad de aprender ideas claves acerca de la naturaleza del diseño tecnológico, sus restricciones físicas y socia-

Figura 2

Un mapa parcial ilustrando el desarrollo del concepto de *diseño*. «Restricciones sociales» y «Fallas en el diseño» no son mostradas (AAAS, 2000).



les, la necesidad de reconocer su impredecibilidad, la naturaleza de las fallos asociadas a los diseños y alguna manera de preverlos. Aun menos estudiantes discuten ideas acerca del concepto de *control* y cómo éste explica fenómenos físicos y sociales. Estos conocimientos tecnológicos como son *diseño* y *control* forman parte de una imagen coherente de alfabetización científica y tecnológica (AAAS, 1997).

Desde esta perspectiva de alfabetización científica y tecnológica, lo importante es que los estudiantes y adultos de una sociedad comprendan que al diseñar artefactos estos diseños pueden resolver problemas pero al mismo tiempo crear nuevos problemas. Se espera que los estudiantes que tengan una educación científica y tecnológica en que estas ideas sean explícitas van a ser capaces de evaluar las ventajas y desventajas de los diseños tecnológicos y entender que siempre hay que sacrificar algunas cosas para obtener otras. Esto pocas veces está explícito en la educación, lo que se refleja en las pocas posiciones críticas al respecto de tecnología. Lo que se quiere es que al final de sus estudios obligatorios en ciencia y tecnología los adultos tengan una visión de diseño tecnológico que les permita evaluar sus componentes físicos, económicos, políticos y sociales para afrontar los retos que plantea una sociedad cada vez más «diseñada». El hecho no es sembrar temor acerca de la tecnología sino conocer su naturaleza para tomar mejores decisiones. Para esto es esencial entender cuáles son los contenidos tecnológicos que permiten un educación científica relevante.

Existe un consenso casi universal acerca de la necesidad de alfabetización científica y tecnológica (AAAS, 1997; NRC, 1996; Layton, 1994b; Gil, 1998; Vilches, 1999; López y Valenti, 2000). A pesar de la diversidad de movimientos sobre alfabetización científica y tecnológica, algunos conocimientos tecnológicos parecen estar encontrando su camino hacia la cultura general. Pero la transposición didáctica de conocimientos tecnológicos hacia conocimientos escolares tendrá que vencer barreras sociales. Una de ellas es el bajo estatus social de las tecnologías en relación con las disciplinas científicas.

En diferentes partes del mundo, la transposición de conocimientos tecnológicos hacia discursos escolares ha seguido diferentes trayectorias. Aun dentro de países aparentemente similares como es el caso de EEUU e Inglaterra, existen diferencias fundamentales (Lewis, 1996). Esto depende parcialmente de los estatus de las diferentes tecnologías en diferentes países o regiones.

Por ejemplo, hasta hace poco en América (sur, centro y norte) la educación en tecnología estaba dirigida a estudios vocacionales (p.e., carpintería, mecánica, etc.) consistentes en estudios en artes industriales. El objetivo de esta educación era proveer habilidades mínimas para trabajos potenciales más que proveer un entendimiento sobre la naturaleza de la tecnología. Lo que es cierto es que las disciplinas bases de estas tecnologías tienen raíces humildes, pues el trabajo de los obreros (p.e., mecánicos, carpinteros) tiende a ser visto como de menor status que otras profesiones (p.e., abogados, médicos). Este «bajo» status de las profesiones tecnológicas se traslada a la educación en tecnología (Collins, 1973). El caso de ingeniería es uno interesante.

A pesar de que nadie duda de que las sociedades modernas dependen de las ingenierías, hasta el extremo de que los ingenieros son considerados como los pilares sobre los que descansa el desarrollo y funcionamiento de la sociedad contemporánea, no existen mayores conocimientos de ingeniería en educación primaria y secundaria (Collins, 1973). Conocimientos básicos de ingeniería, como son las ideas de diseño y control de sistemas, no han sido trasladados al conocimiento escolar. Las nuevas concepciones de alfabetización científica y tecnológica están incluyendo estos conocimientos para la educación de todos (AAAS, 1997, 1998).

Para los fines de alfabetización científica y tecnológica, lo que es importante no es la transposición didáctica de todo el conocimiento de la ingeniería o las tecnologías, sino más bien aquellos conocimientos que puedan ser relevantes para todos. La naturaleza del diseño tecnológico es uno de esos conceptos, pues juega un papel fundamental en nuestro entendimiento del mundo moderno y en nuestra capacidad para transformarlo (controlarlo). Estas ideas ilustran una concepción de alfabetización tecnológica que se complementa con el ideal de alfabetización científica y posibilita una mejor formación para afrontar los retos de la sociedad contemporánea.

AGRADECIMIENTOS

Deseo dar las gracias a Pilar Ovalle (UNAM, México), Marina Ratchford (AAAS, EEUU) y Gilda Sánchez (SENACYT, Panamá) así como a los asesores anónimos de la revista por sus comentarios. Ellos, sin embargo, no son responsables de cualquier error presentado en este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS (1990). *Science for All Americans*. Nueva York: Oxford University Press.
- AAAS (1993). *Benchmarks for science literacy*. Nueva York: Oxford University Press.
- AAAS (1998). *Avances en el conocimiento científico*. México: Harla.
- AAAS (1997). *Ciencia: conocimiento para todos*. México: Harla.
- AAAS (2000). *Atlas of science literacy*. Nueva York: Oxford University Press.
- ANDRADE, E.A. (1997). Technology education in Latin America, en Layton, D. (ed.). *Innovation in science and technology education*, Vol. V, pp. 77-90. París: UNESCO.
- ARONS, A.B. (1983). Achieving Wider Scientific Literacy. *Daedalus*, 112(2), pp. 90-122.
- ARONS, A.B. (1997). Teaching introductory physics. Nueva York: Wiley & Son Inc.
- BERNSTEIN, B. (1975). *Class, codes and control*, Vol. 3. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- BUCCIARELLI, L. (1994). *Designing Engineers*. Massachusetts: MIT Press.
- BUNGE, M. (1985). *Treatise on Basic Philosophy*. Vol. 7. Epistemology and Methodology III. Boston: Reidel.
- CAJAS, F. (1995). Science for All Americans: A philosophical discussion. *Proceedings of the Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference* en Finley, F., Allching, D., Rhees, D. y Finfield, S. (eds.), pp. 176-187. Minneapolis: University of Minnesota.
- CAJAS, F. (1998). Introducing technology in science education: The case of Guatemala. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 18(3), pp. 198-207.
- CAJAS, F. (1999) Public understanding of science: using technology to enhance school science in everyday life. *International Journal in Science Education*, 21(7), pp. 765-774.
- CAJAS, F. (2000). Research in Technology Education: What are we Researching? *Journal of Technology Education*, 11(2), pp. 61-69.
- CHEVALLARD, Y. (1991) *La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné*. Francia: La Pensée Sauvage.
- CHI, M. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science, en Giere, R. (ed.). *Cognitive Models of Science: Minnesota studies in philosophy of science*, pp. 129-186. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- COLLINS, A. (1997). National science education standards: looking backward and forward. *The Elementary School Journal*, 97(4), pp. 299-313.
- COLLINS, R. (1979). *The credential society: A historical sociology of education and stratification*. Nueva York: Academic Press.
- DEWEY, J. (1902/1990). *The child and the curriculum*. Chicago: The University of Chicago Press.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- GIL, D. (1998). El papel de la educación ante las transformaciones científico-tecnológicas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, pp. 69-90.
- GUSTAFSON, B.J., ROWELL, P.M., y ROSE, D.P. (1999). Elementary children's conceptions of structural stability: A Three year study. *Journal of Technology Education* 11(1), pp. 27-48.
- GOLDMAN, S. (1984) The techne of philosophy and the philosophy of technology, en Durbin, P. (ed.). *Research in Philosophy of Technology*, 7, pp. 130-134. Greenwich: JAI Press.
- HMELO, C.E., HOLTON, D.G., y KOLODNER, J.L., (2000). Designing to learn about complex systems. *The Journal of the Learning of Sciences*, 9(3), pp. 247-298.
- HERRERA, R. (1990). Crítica al modelo ortodoxo de la enseñanza de la ingeniería e ideas para su modificación. *Tecnología en Marcha*, 10(1), pp. 3-16.
- HERRERA, R. (1996). Ingeniería: un marco teórico. *Ingeniería* 5(1), pp. 39-59.
- INTERNATIONAL TECHNOLOGY EDUCATION ASSOCIATION. (2000). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston, VA: Author.
- IRWIN, A. (1995). *Citizen Science*. Londres: Routledge.
- JENKINS, E. (1992). Public understanding of science and science education for action. *Journal of Curriculum Studies*, 26(6), pp. 601-611.
- JENKINS, E. (1997). Towards a functional public understanding of science, en Levinson, R. y Thomas, J. (eds.). *Science Today: Problems or Crisis?*, pp. 137-150. Londres: Routledge.
- JENKINS, E. (1999). School science, citizenship and the public understanding of science. *International Journal of Science Education*, 20(6), pp. 703-710.
- KERRE, B.W. (1997). Technology education in Africa, en Layton, D. (ed.). *Innovation in science and technology education*, Vol. V, pp. 103-118. París: UNESCO.
- JOHNSON, J. (1989). *Technology*. Report of Project 2061 Phase I. AAAS: Washington DC.
- LATORRE, A. y SANFÉLIX, F. (2000). Alfabetización científico-tecnológica en estudiantes de secundaria y universidad: Un análisis experimental. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), pp. 55-70.
- LAVE, J. (1988). *Cognition in practice: Mind, Mathematics and Culture in Everyday Life*. Cambridge MA: Cambridge University Press.
- LAYTON, D. (1994a). STS in the school curriculum: A movement overtaken by history, en Solomon, J. y Aikenhead, G. (eds.). *STS Education International Perspective of Reform*, pp. 32-44. Nueva York: Teacher College.
- LAYTON, D. (1994b). A school subject in the making? The search for fundamental, en Layton, D. (ed.). *Innovation in science and technology education*, Vol. V, pp. 11-28. París: UNESCO.
- LAYTON, D., JENKINS, E., MACGILL, S. y DAVEY, A. (1993). *Inarticulate Science?* Driffield, UK: Studies in Science Education.
- LEWIS, T. (1991). Introducing technology into the school curricula. *Journal of Curriculum Studies*, 23(2), pp. 141-154.

- LEWIS, T. (1996). Comparing technology education in the US and the UK. *International Journal of Technology and Design Education*, 6(3), pp. 203-219.
- LÓPEZ, J.A. y VALENTÍ, P. (2000). Educación tecnológica en el siglo XXI. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <http://www.campus-oei.org/ctsi/edutec.htm>
- LÓPEZ, J.A. y GONZÁLES, M. (1996). Lay knowledge and public participation in technological and environmental policy. *Techné*, 2(1), pp. 53-73. <http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/SPT/v2n1/cerezo.html>.
- MARTÍNEZ, E. y FLORES, J. (1997). *La popularización de la ciencia y la tecnología: Reflexiones básicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- MCDERMOTT, L. y SHAFFER, P. (1992). Research as guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of students understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), pp. 994-1003.
- MICHAEL, M. (1992). Lay discourses of science: Science-in-general, science-in-particular and self. *Science, Technology & Human Values*, 17(3), pp. 313-333.
- MILLER, J. (1983). Scientific literacy: A conceptual and Empirical Review. *Daedalus*, 112(2), pp. 29-48.
- MITCHAM, C. (1994). *Thinking through technology*. Chicago: The University of Chicago Press.
- MORGAN, K. (1997). Technology education in Australia and South-East Asia, en Layton, D. (ed.). *Innovation in science and technology education*, Vol. V, pp. 91-132. París: UNESCO.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press.
- NOVAK, J. (1987). *Proceedings of the Second international Seminar: Misconceptions and Educational strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, Nueva York: Cornell University.
- NUSSBAUM, J. (1979). Childrens' conceptions of the earth as a cosmic body: A cross-age study. *Science Education*, 63(1), pp. 83-93.
- OSORIO, C. (2000). Una experiencia de formación en ciencia, tecnología y sociedad para maestros de educación básica y media. *Boletín del Programa Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Febrero.
- POZO, J.I. (1999). Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, pp. 15-29.
- ROTH, W.M. (1996a). Learning to talk engineering design: Results from an interpretative study in grade 4/5 classroom. *International Journal of Technology and Design Education*, 6(2), pp.107-135.
- ROTH, W.M. (1996b). Art and artifact of children's designing: A situated cognition perspective. *The Journal of the Learning of Sciences*, 5, pp. 129-166.
- ROTH, W.M. (1997). Interactions structures during a grade 4-5 open-design engineering unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(3), pp. 273-302.
- ROTH, W.M. (1998). *Designing communities*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishing.
- RUSSELL, T., LONGDEN, K. y McGUIGAN (1991). *Materials primary space project research report*. Liverpool: Liverpool University Press.
- SCHWAB, J. (1973). The practical 3: translation into curriculum. *School Review*, 81, pp. 501-522.
- SOLOMON, J. y AIKENHEAD, G. (eds.). (1994). *STS Education: International Perspectives on Reform*. Nueva York: Teachers College Press.
- TRUESDEL, C. (1975). *Ensayos de historia de la mecánica*. Madrid: Tecnos.
- VERRET, M. (1975). *Le temps des études*. París: Atelier.
- VARELA, P. y FAVIERES, A. (1988). Circuitos eléctricos: Una aplicación de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 285-290.
- VICENTI, W. (1990). *What Engineers Know and How They Know It*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- VIENNOT, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. París: Hermann.
- VILCHES, A. y FURIÓ, C. (1999). Ciencia, tecnología, sociedad: implicaciones en la educación científica para el siglo XXI. Presentación en el I Congreso Internacional «Didáctica de la Ciencias», OEI. La Habana, Cuba. <http://www.campus-oei.org/cts/ctseduacion.htm>
- VOSNIADOU, S. (1991). Designing curricula for conceptual restructuring; lessons from the study of knowledge acquisition in astronomy. *Journal of Curriculum Studies*, 23, pp. 219-237.
- VOSNIADOU, S. y BREWER, W. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, pp. 535-585.
- WYNNE, B. (1991). Knowledge in context. *Science, Technology and Human Values*, 16(1), pp. 111-21.
- WYNNE, B. (1995). Public understanding of science, en Jasanoff, S., Markle, G., Petersen, J. y Pinch, T. (eds.). *Handbook of Science and Technology Studies*, pp. 61-388. California: Sage.
- YAGER, R. (1996). History of science. Technology and society as reform in the United States, en Robert (ed.). *Science and Technology and Society as Reform in Science Education*, pp. 3-15. Nueva York: Suny.

[Artículo recibido en noviembre de 1999 y aceptado en julio de 2000.]